5C

УДК 004.891

В.А. Санжаревский, И.В. Дорохов
Государственный университет информатики и искусственного интеллекта
г. Донецк, Украина

Разработка стенда для решения задачи дистанционного определения типа материала

Данная статья посвящена разработке стенда, позволяющего производить съём и обработку данных с массива микроволновых сенсоров, для дальнейшего применения полученных данных в радиоволновых методах анализа материалов с целью построения системы дистанционного определения типа материала.

Введение

В процессе работы робототехнических систем часто необходимо определить тип материала, с которым взаимодействует система (например, материал, из которого состоит препятствие на пути робота). На сегодняшний день вопрос дистанционного определения типа материала не решен. Существующие системы анализа материалов используются в основном для анализа материала на наличие дефектов (например, для контроля качества выпускаемой продукции) и являются сложными в техническом исполнении. К таким методам относятся рентгенографический анализ и ёмкостный анализ материалов.

Рентгенографический анализ представляет собой метод с использованием рентгеновских лучей и Y-лучей. Рентгенографический анализ подразумевает воздействие на материал гомогенными лучами от радиоактивного изотопа или рентгеновской трубки, при этом изучаемый образец помещается на фоне негативной пленки. После проявления пленки расхождения в толщине и плотности (т.е. дефекты материала) проявляются как затемненные пятна. Критерии приемлемости определяют, является ли показатель (дефект) приемлемым или нет [1].

Ёмкостный анализ предназначен для определения диэлектрической проницаемости пластмасс, минералов и керамики и идентификации их по этому параметру. Принцип определения диэлектрической проницаемости основан на увеличении ёмкости датчика при плотном соприкосновении его поверхности со шлифованной поверхностью диэлектрика (минерала) и соответствующем увеличении коэффициента передачи высокочастотного сигнала в измерительной цепи с этим ёмкостным датчиком [2].

Основной недостаток описанных выше методов заключается в том, что на расстоянии нескольких сантиметров к объекту, материал которого необходимо определить, их применение становится невозможным. Поэтому для решения задачи дистанционного анализа материалов следует применять радиоволновые методы.

Радиоволновые методы и средства в основном применяют для контроля качества и геометрических размеров изделий из диэлектрических материалов (строительные материалы, стеклопластики и пластмассы, резина, термозащитные материалы, теплоизоляционные материалы, бумага, фибра, фанера), для измерения влажности материалов (зерно, песок, древесностружечные материалы), вибраций, толщины металлического листа и т.п. [3].

Объектом исследования является материал объекта, анализ которого производится при помощи радиоволн в микроволновом диапазоне частот. При взаимодействии с материалом изделия изменяются такие параметры радиоволн, как коэффициенты прохождения и отражения, ослабление, рассеяние, фаза, вид и плоскость поляризации. Изменения этих величин при прохождении радиоволн через контролируемое изделие или отражении от него характеризуют внутреннее состояние изделия, в частности наличие различных дефектов (расслоение, пористость, трещины, инородные включения, неравномерность распределения связующего, нарушение структуры и т.д.). Одной из наиболее популярных на сегодняшний день задач радиоволнового метода в микроволновом диапазоне является обнаружение этих дефектов в полимерных материалах и, особенно, в материалах, являющихся непрозрачными для видимого диапазона длин волн [4].

Целью данной работы является разработка стенда, позволяющего проводить исследования в области анализа материала при помощи микроволнового излучения. Полученные экспериментальным путём данные могут в дальнейшем использоваться при разработке методов анализа свойств материалов и построении системы определения типа материалов с использованием разработанных методов.

1. Параметры радиоволнового метода для решения задачи классификации материалов

Электромагнитная волна представляет собой совокупность быстропеременного электрического поля E и магнитного поля H, распространяющихся в определенном направлении z. В свободном пространстве электромагнитная волна поперечна, т.е. векторы E и H перпендикулярны направлению распространения волны z (продольная волна отсутствует) (рис. 1).

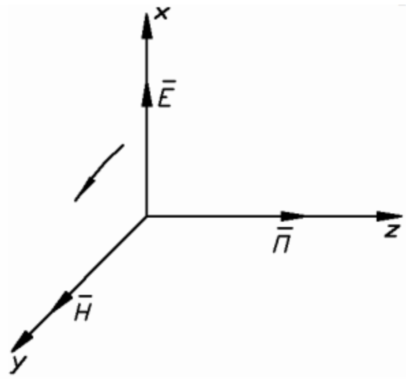


Рисунок 1 – Схема расположения векторов $\overline{E}, \overline{H}, \overline{П}$ в бегущей электромагнитной волне

Для решения задачи классификации материалов необходимо знать диэлектрическую постоянную ε и тангенс угла диэлектрических потерь tg δ (обычно для диэлектриков магнитная проницаемость μ = 1) [5], для полупроводниковых и магнитных материалов необходимо учитывать ε и μ, для металлов в основном имеют значение величины проводимости σ.

В неограниченной диэлектрической среде без потерь μ = 1; σ = 0, наличие магнитной составляющей поля связано с существованием электрической составляющей E, играющей основную роль в современных средствах радиоволнового контроля.

Одним из важнейших параметров электромагнитной волны является ее поляризация, определяемая ориентацией вектора Е в пространстве по мере ее распространения. Волну называют естественной (неполяризованной), если вектор Е принимает в плоскости, перпендикулярной к направлению ее распространения, в различные моменты времени различные направления, а в конце его описывает окружность.

Если при тех же условиях конец вектора описывает эллипс, то волну называют частично поляризованной по эллипсу (влево или вправо). В частных случаях эллипс вырождается в окружность (волна поляризована по кругу) или прямую линию (плоскополяризованная волна).

В свободной волне Е и Н синфазные, т.е. они одновременно в одних и тех же точках пространства достигают максимального или минимального значения. Аналогичная картина получится, если вместо z отложить время t. Векторы Е и Н всегда образуют правый винт, что определяет направление распространения энергии и очень важно при анализе условий отражения. Поток энергии П ортогонален векторам Е и Н и совпадает с направлением распространения волн z. Поток энергии колеблется с удвоенной частотой (по сравнению с Е и Н), принимая положительные значения (включая П = 0).

Плотность потока энергии пропорциональна квадрату амплитуды электрического поля. Это общее и важное положение, на котором фактически основана возможность регистрации распространяющихся электромагнитных волн различными приемниками, так как из-за инерционности приемники энергии СВЧ регистрируют средние значения квадрата амплитуды E^2.

В разрабатываемом стенде использованы микроволновые сенсоры, наиболее распространённые в промышленности и быту на сегодняшний день. В основу их работы заложены принципы СВЧ излучения, описанные выше, а также главный принцип их действия, основанный на эффекте Доплера. Заключается он в следующем: когда объект движется в поле излучения сенсора, в сигнале СВЧ-генератора появляется доплеровская составляющая, пропорциональная скорости движения. Далее этот сигнал усиливается и фильтруется. Уровень сигнала пропорционален расстоянию от движущегося объекта до сенсора. В случае электромагнитных волн формулу эффекта Доплера для частоты (1) выводят из уравнений специальной теории относительности [6]:

$$f = f_0 \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v}{c} \cdot \cos\theta}, \qquad (1)$$

где c – скорость света, v – относительная скорость приёмника и источника (положительная в случае их удаления друг от друга), f_0 – частота, с которой источник испускает волны.

Таким образом, сигнал на выходе сенсора можно получить только в случае движения либо объекта относительно сенсора, либо сенсора относительно объекта. Поскольку скорость движения сенсора v относительно объекта (в случае, если сам объект неподвижен) заранее известна, а также известна частота f_0, то становится возможным определение параметров, влияющих на проходимость СВЧ радиоволн через материал объекта. Соответственно, определив диэлектрическую постоянную ε, тангенс угла диэлектрических потерь tg δ и значение величины проводимости σ, можно принять решение в классификации материала анализируемого объекта (определения класса материала).

2. Стенд для проведения исследований в области анализа материалов при помощи микроволнового излучения

Главное требование к разрабатываемому стенду – возможность его применения в условиях окружающей среды, когда в зоне действия стенда находятся несколько объектов с разными типами материалов. Поскольку один микроволновый сенсор не в состоянии справиться с такой задачей, актуальным в построении системы будет объединение нескольких сенсоров в массив.

Блок-схема стенда для получения и обработки данных с массива микроволновых сенсоров при решении задачи классификации материалов приведена на рис. 2.

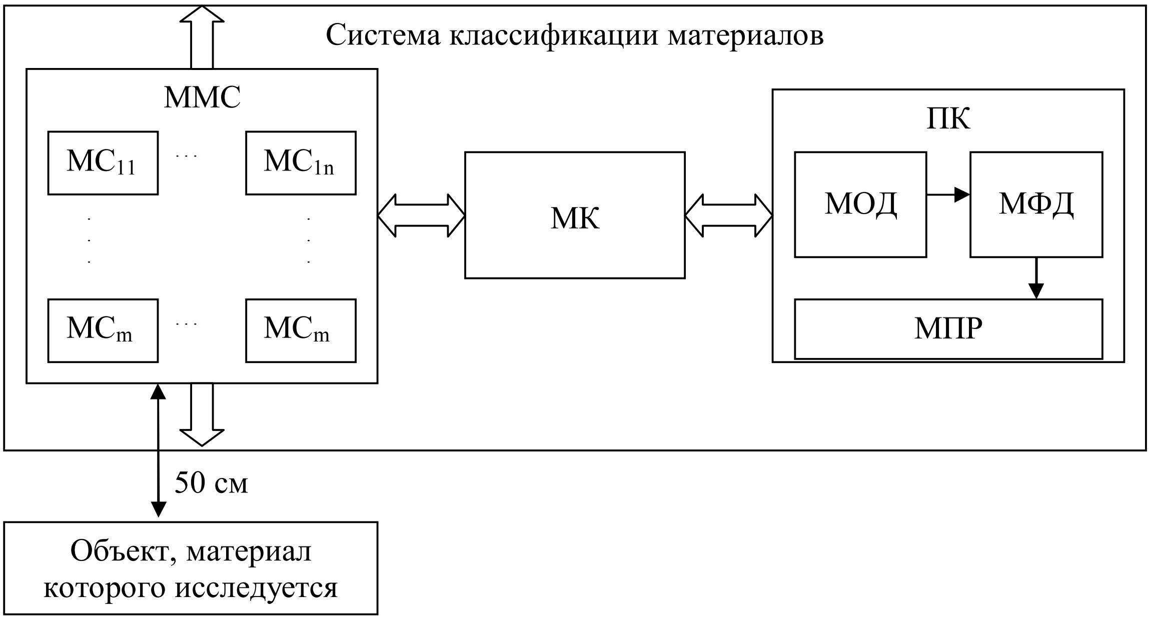


Рисунок 2 – Блок-схема стенда для получения и обработки данных с массива микроволновых сенсоров

Стенд состоит из системы получения и обработки данных с массива микроволновых сенсоров и непосредственно самого объекта, материал которого необходимо классифицировать. Основными элементами системы получения и обработки данных являются:

ММС – массив микроволновых сенсоров (МС) размерности n×m. Сенсоры неподвижно закреплены на решётке, которая циклически перемещается по вертикальной оси при помощи двигателя (для создания эффекта Доплера);

МК – микроконтроллер, служит для управления мощностью сенсоров, съёма данных и передачи следующему узлу системы;

ПК – персональный компьютер, все дальнейшие действия по классификации материалов выполняются программно на ПК. Программный комплекс состоит из 3-х главных модулей – модуля обработки полученных данных с МК (МОД), модуля фильтрации данных (МФД) и непосредственно модуля, принимающего решение (МПР) в определении материала.

Объект, материал которого исследуется, должен удовлетворять следующим требованиям:

1) состоять из однородного материала;

2) размер объекта (высота и ширина) примерно равен размеру решётки ММС;

3) толщина объекта – не менее 1 сантиметра (может изменяться в дальнейших опытах).

Объект закреплён неподвижно. Для начальных опытов было принято решение расположить объект на расстоянии 50 сантиметров от массива микроволновых сенсоров. В дальнейших опытах расстояние может изменяться.

Выводы

Разработанный стенд может применяться для проведения опытов анализа материалов с применением радиоволновых методов. Стенд позволяет получить те характеристики материала, по которым его можно идентифицировать. Для этого необходимо провести серию опытов с материалами различных классов. Однако при определении однородных материалов в реальном окружающем пространстве система может работать неточно, поскольку многие объекты представляют собой совокупность материалов разных типов, а также не удовлетворяют требованиям по размеру определяемых объектов. Также разработанный стенд не способен определить материал объекта, который движется относительно массива микроволновых сенсоров. Все эти недостатки вызывают необходимость в проведении исследований, разработки новых методов анализа материалов с использованием микроволновых сенсоров, и на основе разработанных методов построения системы, способной к применению в реальном окружающем пространстве как в робототехнических системах, так и в спасательных операциях, горном деле и т.д.

Литература

1. Рентгенографический анализ материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.ua.sgs.com/ru_ua/radiography__conventional_and_computed_.htm
2. Компаненко Л. Прибор для определения диэлектрической проницаемости материалов / Л. Компаненко // Радио. – 2008. – № 9. – С. 32.
3. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник в 2-х кн. / [под ред. В.В. Клюева]. – М. : Машиностроение. – Кн. 1. – 1976. – 396 с.
4. Потапов А.И. Технологический неразрушающий контроль пластмасс / А.И. Потапов, В.М. Игнатов. – Л. : Химия, 1979. – 288 с.
5. Конструирование СВЧ-устройств и экранов / [Чернушенко А.М., Меланченко Н.Е., Малорацкий Л.Г., Петров Б.В.] ; под ред. А.М. Чернушенко. – М. : Радио и связь, 1983. – 400 с.
6. Специальная теория относительности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : ru.wikipedia.org/wiki/Специальная_теория_относительности

В.О. Санжаревський, І.В. Дорохов

Розробка стенда для вирішення задачі дистанційного визначення типу матеріалу

Дана стаття присвячена розробці стенда, що дозволяє проводити зняття та обробку даних з масиву мікрохвильових сенсорів, для подальшого застосування отриманих даних у радіохвильових методах аналізу матеріалів з метою побудови системи дистанційного визначення типу матеріалів.

V.A. Sanzharevsky, I.V. Dorokhov

Development of the Stand for the Decision a Problem of Remote Definition of Material Type

The article is devoted to development of the stand, allowing to transmit data and data processing from a microwave sensor array, for the further application of the received data in radiowave methods of the analysis of materials for the purpose of construction of system for remote definition of type of material.

Статья поступила в редакцию 11.06.2009.